

INTERVAL TRAINING:

una strategia per ritardare la fatica muscolare

di Pietro Enrico di Prampero

Emerito di Fisiologia, Università di Udine

All'inizio degli anni sessanta dello scorso secolo grazie ai lavori delle scuole scandinava e milanese di fisiologia muscolare, sotto l'egida rispettivamente di P.O. Åstrand e R. Margaria, fu elaborata la strategia del cosiddetto "interval training" il cui scopo precipuo era di consentire all'atleta di svolgere grandi quantità di lavoro ad alta intensità nel corso di una sessione di allenamento, senza andare incontro alla deplezione delle riserve energetiche muscolari, o almeno ritardandone il più possibile l'insorgenza.

Il tema generale cui è dedicato questo numero di Nuova Atletica m'invita a riassumere brevemente i fondamenti fisiologici su cui poggia questa strategia di allenamento.

■ IL MECCANISMO LATTACIDO

Sembra pleonastico ricordare in questa sede che, se l'intensità dell'esercizio si avvicina o supera il massimo consumo di ossigeno (VO_{2max}) e se la sua durata eccede qualche decina di secondi, si osserva una continua produzione di acido lattico, necessaria a colmare la differenza fra la totale potenza metabolica richiesta e quella resa disponibile dai processi ossidativi. Il conseguente continuo accumulo di lattato nel sangue e nei liquidi organici conduce in breve all'esaurimento. Già negli anni trenta dello scorso secolo, Margaria e collaboratori (1933), avevano dimostrato che l'eliminazione del lattato dal sangue alla fine dell'esercizio è un processo piuttosto lento che può essere descritto da una funzione esponenziale con un tempo di dimezzamento di 15 - 20 minuti. Studi successivi che non è il caso di riassumere qui hanno dimostrato che la rimozione

del lattato diviene più rapida se, nel periodo di ristoro, il soggetto esegue esercizi di moderata intensità. Anche in queste condizioni, tuttavia, l'eliminazione del lattato (per via ossidativa o per sintesi a glicogeno) resta un processo piuttosto lento. Un tipico esempio di questo stato di cose è rappresentato in Figura 1.

Queste considerazioni mettono in evidenza la necessità di inserire, nel corso di un periodo di esercizio o di allenamento, lunghe pause di ristoro tra fasi di alta intensità, qualora nel corso di esse il soggetto abbia prodotto sostanziali quantità di lattato. In queste condizioni, quindi, la quantità totale di lavoro ad alta intensità è necessariamente piuttosto ridotta. In altre parole ci troviamo di fronte a una situazione contraddittoria, in cui esercizi di alta intensità, necessari per un corretto allenamento, sono incompatibili con le elevate quantità di lavoro, altresì necessarie a un corretto allenamento.

Via d'uscita da questo paradosso è proprio la strategia dell' "interval training" in cui la durata delle fasi di alta intensità è ridotta tal punto da rendere trascurabile, o quasi, la produzione di lattato; ciò permette di ripetere numerose volte le fasi stesse, garantendo così elevata intensità ed elevata quantità di lavoro muscolare.

A questo aspetto del problema è dedicata la prossima sezione.

■ IL MECCANISMO ALATTACIDO

Si consideri un lavoro aerobico d'intensità moderata con inizio e fine "a onda quadra". In questo caso, l'effettivo consumo di ossigeno (VO_2) segue le richieste metaboliche con un certo ritardo,

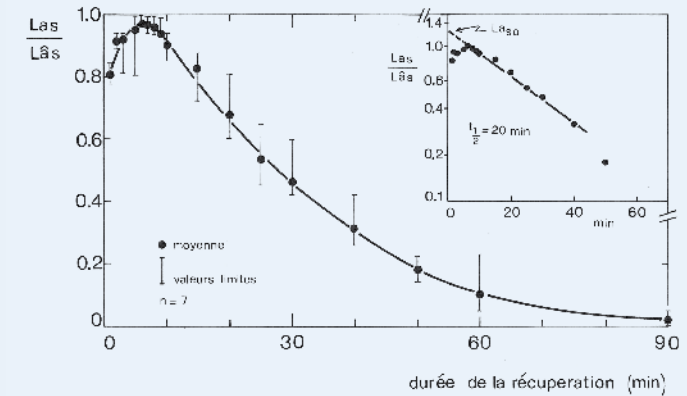


Figura 1 - Concentrazione media del lattato ematico (Las) dopo nuoto a crawl d'intensità $> VO_{2max}$ in sette soggetti in funzione del tempo di ristoro ($durée\ de\ la\ récupération$, min). Las è espressa in rapporto al valore di picco raggiunto nel ristoro ($Lâs$); questo variava tra 5,5 e 15,5 mM. Nell'inserito i valori medi sono indicati in scala logaritmica. Il tempo di dimezzamento della funzione esponenziale dal 6° al 40° minuto del ristoro è 20 minuti. $Lâs_0$ (ottenuto per estrapolazione a $t = 0$) è l'ipotetica concentrazione ematica del La alla fine dell'esercizio (inizio del ristoro) se la diffusione e distribuzione del La nella frazione acquosa dell'organismo fossero processi istantanei. (Modificata da P.E. di Prampero, 1981).

secondo la funzione esponenziale descritta in Figura 2. Questa figura dimostra che, dopo circa 3 minuti, VO_2 raggiunge il valore asintotico e diventa quindi eguale alla richiesta metabolica, cioè al VO_2 di stato stazionario $VO_2(s)$. Nel ristoro l'andamento di VO_2 è l'immagine speculare di quanto testé descritto. Quindi, come nel caso precedente, dopo circa 3 minuti VO_2 raggiunge il valore asintotico, che nel caso specifico è eguale al valore di riposo.

In queste condizioni, nelle fasi iniziali dell'eser-

izio, il consumo di O_2 è insufficiente alla resintesi di tutto l'ATP necessario all'esecuzione del lavoro: una frazione di esso è quindi ricostituita a spese della contrazione del cosiddetto "debito di ossigeno alattacido", a spese cioè dell'idrolisi della fosfocreatina (PCr). Allo stato stazionario invece, il consumo di O_2 è sufficiente a coprire la totale richiesta energetica. Nelle fasi di ristoro infine, VO_2 è superiore alla richiesta metabolica: l'ossigeno in eccesso rispetto al fabbisogno è utilizzato per il pagamento del debito alattacido,

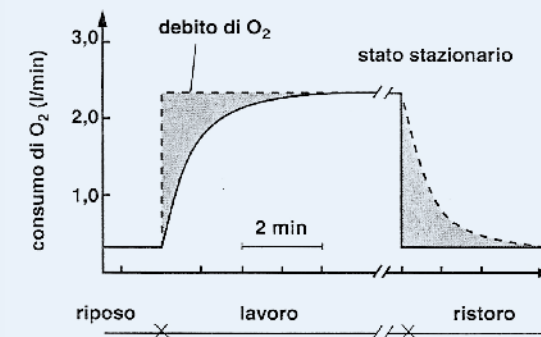


Figura 2 - All'inizio di un lavoro aerobico moderato a "onda quadra" il consumo di ossigeno raggiunge lo stato stazionario in circa 3 minuti. La sua cinetica è descritta da una funzione esponenziale a tempo di dimezzamento di circa 30 secondi. (Da P.E. di Prampero, 1985).

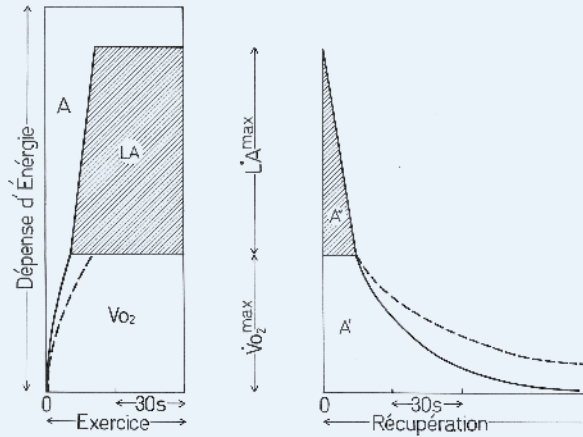


Figura 3 - All'inizio di un lavoro a "onda quadra" di intensità (Dépense d'énergie) 2,5 volte VO₂max, il consumo di ossigeno tende verso la richiesta energetica ma, raggiunto VO₂max non può salire oltre. La richiesta energetica è soddisfatta dai processi ossidativi (area VO₂), dal meccanismo lattacido (area LA) e dal meccanismo alattacido (area A). Se la somma di VO₂max e della massima potenza lattacida (Lamax) è insufficiente a coprire la totale spesa energetica, il meccanismo alattacido continua a fornire energia fino alla sua completa utilizzazione (esaurimento delle riserve di PCr). Nel periodo di ristoro (Récupération) il consumo di O₂ non scende sotto VO₂max, fintantoché una quota di debito alattacido non sia stata pagata dalla produzione di lattato (area A'); la quota restante è pagata dai processi ossidativi (area A'). Le curve a tratto pieno indicano il consumo di O₂ a livello del muscolo, quello tratteggiato il consumo di O₂ attraverso le vie aeree superiori. La cinetica della produzione di lattato è puramente indicativa. Come discusso nel testo, se la durata dell'esercizio è sufficientemente breve, non si osserva produzione di lattato e l'intera richiesta energetica è coperta dai processi ossidativi e dall'idrolisi della PCr. (Modificata da Da P.E. di Prampero, 1981).

per la resintesi cioè della PCr scissa nelle fasi iniziali del lavoro.

Nel caso di esercizi d'intensità superiore a VO₂max, le funzioni con cui VO₂ si adegua alle richieste metaboliche all'inizio e alla fine del lavoro sono formalmente identiche (e con identici tempi di dimezzamento) alle due descritte sopra, con alcune differenze: i) VO₂(s) deve essere sostituito con la potenza metabolica richiesta, espressa in equivalente consumo di O₂, cioè con il VO₂ che sarebbe necessario per svolgere l'esercizio in condizioni completamente aerobiche. Inoltre ii) una volta raggiunto VO₂max, l'effettivo consumo di ossigeno non può salire oltre. Ne segue che, mentre il fabbisogno in termini di consumo di O₂ teorico continua a salire verso la potenza metabolica richiesta, il consumo di O₂ effettivo non può superare VO₂max. Analogamente, nel periodo di ristoro, fintantoché il fabbisogno in termini di consumo di O₂ è superiore a VO₂max, l'effettivo consumo di O₂ non può scendere sotto VO₂max (Figura 3).

Ne segue che, in queste condizioni, dopo un breve periodo iniziale si instaura una sostanziale produzione di lattato che perdura anche nel ristoro, per tutto il tempo in cui il fabbisogno in termini di consumo di O₂ è superiore a VO₂max (v. Fig. 3). La Figura 3 mette in evidenza che, prima dell'inizio della produzione di lattato, la spesa energetica è sostenuta per una piccola frazione dal debito di O₂ alattacido, dall'idrolisi cioè delle riserve muscolari di fosfocreatina (PCr). A sua volta, la PCr sarà resintetizzata a spese dei processi ossidativi solo alla fine dell'esercizio, quando cioè il consumo di O₂ effettivo sarà superiore alle richieste energetiche.

La Figura 3 riassume in modo paradigmatico le basi fisiologiche dell' interval training: anche in esercizi di intensità molto elevata, nelle fasi iniziali la richiesta energetica è coperta in larga misura dall'idrolisi della PCr, con un piccolo contributo da parte del consumo di O₂ ed eventualmente da una trascurabile produzione di lattato. Inol-

tre, dato che la resintesi della PCr è un processo piuttosto rapido (t_{1/2} ≈ 20 - 30 secondi), sono sufficienti periodi di ristoro di questo ordine di grandezza, o poco più, per ricostituire le riserve di PCr. Ciò consente l'esecuzione di numerose fasi di alta intensità intervallate da brevi pause, purché: 1) la durata e l'intensità delle fasi stesse sia tale da rendere trascurabile la produzione di lattato e 2) la durata e l'intensità delle pause sia sufficiente alla ricostituzione delle riserve di PCr.

■ L'INTERVAL TRAINING

Una corretta applicazione dei principi riassunti sopra richiede una conoscenza sufficientemente precisa del ritardo, rispetto all'inizio dell'esercizio, con cui s'instaura la produzione di lattato. Anche se è intuitivamente evidente che questo ritardo dipende dall'intensità dell'esercizio, oltre che dal massimo consumo di O₂ del soggetto, è un fatto piuttosto malinconico che, a tutt'oggi, non siamo in grado (almeno chi scrive) di dare risposte convincenti a questo quesito. Tuttavia, in un lavoro pubblicato esattamente cinquant'anni fa, Margaria e collaboratori (1964) hanno dimostrato che, anche in esercizi di elevatissimo intensità (corsa a 18 km/h su ergometro trasportatore alla pendenza del 10, 15, 20 e 25 %), si osserva un

periodo iniziale di lavoro, variabile da circa 2 a circa 15 secondi in cui non si ha accumulo di lattato nel sangue. Queste osservazioni furono successivamente confermate con metodi più diretti (biopsia muscolare) da Saltin ed Essén (1971). È anche interessante osservare che, nello studio di Margaria et al. (1964) i tempi di ritardo dell'attivazione del meccanismo lattacido erano dello stesso ordine di grandezza del tempo necessario al consumo di O₂ per raggiungere VO₂max, almeno per le intensità comprese tra 1,5 e 2,5 volte VO₂max.

Queste osservazioni hanno condotto a una serie di studi nel corso dei quali si è determinata la quantità di lattato accumulata nel sangue durante esercizi di alta intensità di cui veniva fatta variare la durata del periodo di lavoro e della successiva pausa. I risultati di uno di questi studi (Margaria et al., 1969) sono riportati di seguito.

Nella fattispecie un gruppo di soggetti in buone condizioni di allenamento (VO₂max = 52 ml/(kg min) al di sopra del riposo) ha eseguito ripetuti cicli di corsa su ergometro trasportatore della durata di 10 s, alla velocità di 18 km/h e alla pendenza del 15 % (corrispondenti a una richiesta metabolica, espressa in consumo di O₂, di 112 ml/(kg min) al di sopra del valore di riposo), intervallati da 10, 20, o 30 s di pausa.

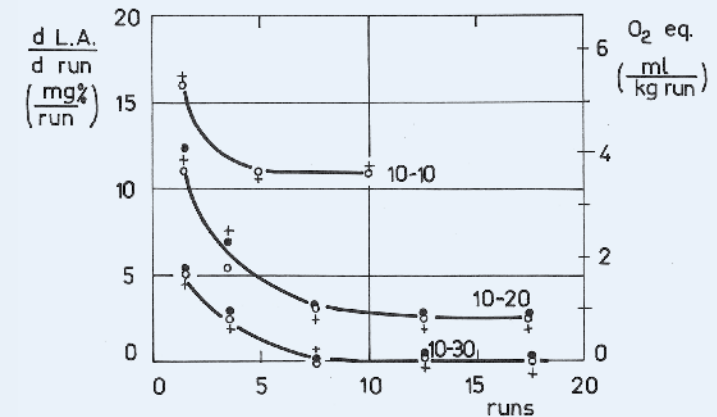


Figura 4 - Accumulo di acido lattico nel sangue per ciclo di corsa di 10 secondi (dL.A., mg %, ordinata di sinistra) e suo equivalente energetico espresso in ml di ossigeno (ordinata di destra) in funzione del numero progressivo dei cicli di corsa (10 mg % = 1,11 mM). Se il ciclo di corsa era seguito da 10 s di pausa (curva superiore), la produzione di lattato per ciclo si stabilizzava intorno agli 11 mg %; essa si riduceva a circa 3 mg % se la durata della pausa era di 20 s, per divenire trascurabile quando se la durata della pausa era di 30 s. Si noti anche l'esaurimento muscolare avveniva dopo 10 cicli di corsa per pause di 10 s, e dopo circa 18 cicli per le due pause più lunghe. Ulteriori dettagli nel testo. (Da Margaria et al., 1969)

Si è osservato che, dopo i primi cicli di corsa in cui si osservava comunque un certo accumulo di lattato nel sangue, quando la pausa tra le fasi di alta intensità era di 30 secondi la produzione di lattato per ciclo si riduceva in breve a zero, mentre restava a valori positivi quando la pausa era di 10 o 20 secondi (Figura 4).

■ CONCLUSIONI

Da quanto riassunto brevemente sopra risulta evidente che intensità e durata dei cicli di lavoro e ristoro svolgono un ruolo cruciale nel determinare il tasso di accumulazione del lattato nel sangue e quindi l'insorgenza della fatica muscolare. Ne segue anche che una scelta appropriata di questi parametri consente di svolgere lavoro di alta intensità per lunghi periodi di tempo, sia pure in intervalli. Si noti anche che, al fine di evitare traumi al sistema osteo-articolare e muscolare, è consigliabile che nella fase di ristoro il soggetto svolga un esercizio moderato. Se ciò è piuttosto evidente sul piano qualitativo, non sembra facile proporre semplici regole per stimare intensità e durata della fase di lavoro e ristoro. Alla luce dei dati ottenuti da Margaria et al. (1964 e 1969) e brevemente discussi sopra, tuttavia, sembra ragionevole suggerire che l'intensità di scelta si situi tra 1,5 e 3 volte il massimo consumo di O₂ del soggetto, la durata delle fasi di esercizio fra 20 e 8 secondi, rispettivamente e la durata del ristoro (a un'intensità non superiore al 50 % di VO₂max) fra 30 e 40 secondi.

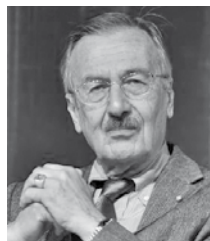
Desidero da ultimo sottolineare che la scelta di limitare in queste poche righe il mio excursus bibliografico ai "cinquantenni" lavori della scuola milanese, più che alla mia appartenenza alla scuola stessa, è dovuta al fatto che in questi lavori l'energetica muscolare, chiaramente esplicitata e discussa, è pilastro interpretativo dei dati sperimentali. Ciò non sempre avviene nei lavori più recenti, che pur riportando una notevole messe di risultati interessanti, spesso si limitano a un'elencazione di dati fattuali.

BIBLIOGRAFIA

- Margaria, R., H.T. Edwards, D.B. Dill. The possible mechanism of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *Am. J. Physiol.* 106: 689 – 715, 1933.
- Margaria, R., P. Cerretelli, F. Mangili. Balance and kinetics of anaerobic Energy release during strenuous exercise in man. *J. Appl. Physiol.* 19: 623 – 628, 1964.
- Margaria, R., R.D. Oliva, P.E. di Prampero, P. Cerretelli. Energy utilization in intermittent exercise of supramaximal intensity. *J. Appl. Physiol.* 26: 752 – 756, 1969
- di Prampero, P.E. Energetics of muscular exercise. *Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol.* 89: 143 – 222, 1981.
- di Prampero, P.E. La Locomozione umana su Terra in Acqua, in Aria: Fatti e Teorie. Edi-Erems, Milano, 1985 p.
- Saltin, B., B. Essén. Muscle glycogen, lactate, ATP and CP in intermittent exercise. In "Muscle Metabolism during Exercise", a cura di B. Pernow e B. Saltin, Plenum Press, New York, pp. 419 – 424, 1971.

PIETRO ENRICO DI PRAMPERO

Si è laureato in Medicina e Chirurgia, a pieni voti assoluti e lode, presso l'Università di Milano nel luglio 1964. Dal novembre 1986 è Professore straordinario, e dal novembre 1989 ordinario, di Fisiologia umana presso la Facoltà di Medicina dell'Università di Udine di cui è stato Preside nel periodo 1989-93. Presidente del Corso di laurea in Scienze motorie della Facoltà di Medicina dell'Università di Udine (2000 – 2010) e Direttore del Dipartimento di Scienze e Tecnologie biomediche della stessa Università (1997 – 2003 e 2009 – 2010). È autore di oltre 350 pubblicazioni scientifiche e "reviews" e di un libro sull'energetica della locomozione umana "La Locomozione umana su Terra, in Acqua, in Aria: Fatti e Teorie (Edi-Erems, Milano 1985). Ha redatto parecchi capitoli delle varie edizioni (1996, 2000, 2005, 2009) dei libri di testo "Fisiologia e Biofisica Medica", a cura di Fausto Baldissera e Carlo Adolfo Porro (Poletto Editore, Milano) e "Fisiologia dell'Uomo" (Edi-Erems, Milano 2002) di cui è curatore con Arsenio Veicsteinas.



L'EDUCATORE SPORTIVO:

un soggetto non tutelato

di Edi Daniele Moroso

Fare l'educatore è lavoro tutt'altro che facile: diventa agevole e con grandi soddisfazioni quando trova armonia, condivisione di programmi, chiarezza e lealtà da parte di tutta la struttura societaria. Quando questi postulati vengono meno ecco che la vita dell'educatore sportivo si fa dura: si generano gli avvertimenti, gli ammonimenti, le piccole minacce, l'isolamento e poi si scarica il fardello. Ergo, l'educatore sportivo è un soggetto spesso debole, non tutelato e che nei momenti di difficoltà quasi sempre paga per tutti. Tuttavia questo andazzo nuoce gravemente a tutto il capitale sociale più prezioso: i ragazzi. Spesso le società in difficoltà impongono direttamente o indirettamente all'educatore sportivo delle direttive di questo genere: "io ti pago e tu hai il dovere di ottenere i risultati". Nella mancanza di successi, spesso l'intervento societario si sofferma esclusivamente sugli effetti e

non sulle cause dei problemi generando disastri su disastri!

In alternativa all'educatore professionale e competente, spesso si preferiscono soggetti più duttili ed accomodanti che, pur dotati di volontà ed entusiasmo, si prestano ad attuare scelte non condivise. Ed è proprio quando le redini del gruppo vengono consegnate a questi soggetti, che oserei definire "buoni per tutte le stagioni", che i danni emergono in tutta la loro portata. Penso invece che sia doveroso riprendere il vecchio concetto che vuole la società intesa come ente di servizio e non mero oggetto di proprietà ("compiacere per possedere"). Alla fine di questa chiacchierata, vorrei sottolineare che la professionalità è una virtù che non si compera semplicemente perché non ha prezzo ed i soggetti migliori, quelli che per intenderci danno linfa e futuro allo sport, andrebbero tutelati e tenuti ben stretti.



Il Mulo Parlante suggerisce

"Anatomia del potere" di Jonn Galbraith.

Questo saggio identifica le fonti del potere, come esso nasce, si manifesta ed agisce, e cataloga gli strumenti attraverso i quali il potere si applica, nel campo politico, economico, militare, religioso. L'autore elenca in modo dettagliato l'esercizio e la pratica del condizionamento delle coscienze, esercitato attraverso i meccanismi della organizzazione (vedi burocrazia, lobbies, gruppi economici, ecc.) e dai mass media. Questo libro vuole indirizzare il lettore a identificare e riconoscere certi messaggi che ci vengono quotidianamente propinati spesso a nostra insaputa sotto varie forme e identità. Poiché a farne le spese siamo sempre noi. Buona lettura